



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 100 19 007 A 1

51 Int. Cl.⁷:
F 02 M 25/12
F 02 M 21/02
F 02 N 17/00

21 Aktenzeichen: 100 19 007.3
22 Anmeldetag: 17. 4. 2000
43 Offenlegungstag: 16. 11. 2000

DE 100 19 007 A 1

66 Innere Priorität:
199 17 697. 3 20. 04. 1999
71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

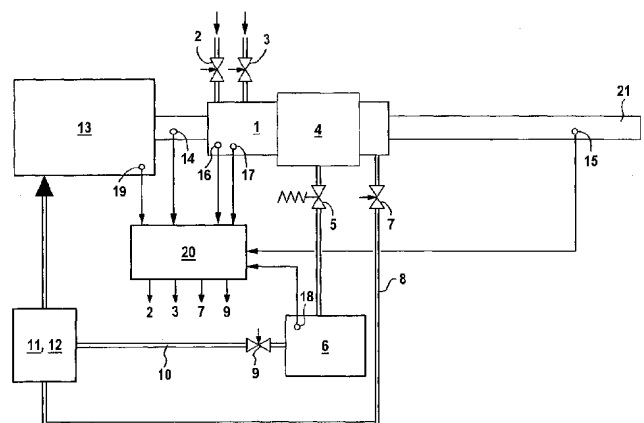
72 Erfinder:
Hammer, Thomas Dr., 91334 Hemhofen, DE
56 Entgegenhaltungen:
GB 22 58 012 A
US 36 82 142

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur Emissionsminderung bei Motoren

57 Insbesondere für den Kaltstart für Motoren wurde bereits vorgeschlagen, dem Kraftstoff Wasserstoff hinzuzufügen. Dazu ist es auch bereits bekannt, den Wasserstoff bei laufendem Motor zu erzeugen, zwischenspeichern und bei Bedarf auf einem Druckbehälter dem Motor zuzuführen. Gemäß der Erfindung wird dazu Kraftstoff unter dem Zusatz von Wasser zu Wasserstoff (42) reformiert. Bei der zugehörigen Vorrichtung ist ein katalytischer Reformier (1, 10; 4, 40) ein Druckbehälter (6) zur Speicherung des erzeugten Wasserstoffs und sind Mittel (7 bis 12) zur Zuführung des Wasserstoffs (H₂) zum Motor (13) vorhanden.



DE 100 19 007 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Emissionsminderung beim Kaltstart von Motoren durch Beimengungen von Wasserstoff, wobei der Wasserstoff im warmgelaufenen Zustand des Motors erzeugt wird und anschließend zwischengespeichert wird, und wobei der gespeicherte Wasserstoff bei Bedarf dem Motor zugeführt wird. Daneben bezieht sich die Erfindung auf eine zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Beim Kaltstart von Verbrennungsmotoren greifen katalytische Maßnahmen für die Abgasreinigung noch nicht, weil Katalysatoren weder die für den Schadstoffabbau erforderlichen Temperaturen noch die vor allem für NO_x-Speicherung erforderlichen Temperaturen haben. Um dieses Problem zu beheben, sind Heizkatalysatoren bekannt. Diese haben jedoch einen hohen Leistungsbedarf, z. B. typischerweise 3 kW.

Weiterhin ist bekannt, dass vor allem die NO_x-Emissionen von Verbrennungsmotoren ohne Einbußen im thermischen Wirkungsgrad dadurch reduziert werden können, dass sie mit Kohlenwasserstoff-Wasserstoff-Gemischen betrieben werden, die eine magere Verbrennung weit über den mit Kohlenwasserstoffen möglichen Bereich hinaus erlauben (Y. Jamal, M. L. Wyszynski, Int. J. Hydrogen Energy Vol. 19, No. 7, pp. 557572 (1994)). Teilweise wurden dabei sogar wesentliche Erhöhungen des thermischen Wirkungsgrades gemessen. Für den kontinuierlichen Betrieb wurde die Wasserstoffgewinnung durch Reformierung von Kohlenwasserstoffen untersucht.

Zum Betrieb der endothermen katalytischen Dampfreformierung wird mit der (JP 80-91803 A1) in letzterem Zusammenhang die Nutzung der Abwärme von Abgasen vorgeschlagen, was zu einer zusätzlichen Steigerung des Wirkungsgrades gegenüber exothermen Reformierungsprozessen wie der partiellen Oxidation von Kohlenwasserstoffen mit Luft führt.

Statt der katalytischen wurde auch schon die Plasmareformierung von Kohlenwasserstoff für die Wasserstofferzeugung an Bord von Kraftfahrzeugen vorgeschlagen (D. R. Cohn, A. Rabinovich, C. H. Titus, L. Bromberg, "Near-term possibilities for extremely low emission vehicles using on-board plasmatron generation of hydrogen", International Journal of Hydrogen Energy (1997) vol. 22, no. 7, p. 715-23). Hier besteht jedoch wie beim Heizkatalysator das Problem, dass mehrere kW elektrischer Leistung bereitgestellt werden müssen, die in Kraftfahrzeugen mit geringem Wirkungsgrad erzeugt wird. Außerdem erfordert das elektrische Netzteil zum Betrieb des Plasmas aufwendige Leistungselektronik.

Alternativ dazu wurde mit der GB 22 58 012 A vorgeschlagen, Wasserstoff für den Betrieb eines Motors durch die Reaktion von Wasser mit Metallen zu erzeugen. Diese Reaktion soll aus Sicherheits- und Kostengründen mit solchen Metallen durchgeführt werden, die erst bei erhöhter Temperatur mit Wasser reagieren. Damit muss für den Start der Reaktion Wärme bereitgestellt werden, die jedoch im laufenden Betrieb des Motors dem Abgas entnommen werden kann. Nachteilig ist, dass das Fahrzeug zusätzlich mit Metall und Wasser statt handelsüblicher Kraftstoffe versorgt und das bei der Reaktion entstehende Metalloxid entsorgt werden müssen. Dafür existiert nicht einmal ansatzweise die Infrastruktur.

Prinzipiell lässt sich die Schadstoffemission also beim Kaltstart von Kraftfahrzeugen durch Wasserstoffbeimischung zum Kraftstoff reduzieren. Hier besteht jedoch das Problem, dass zum erforderlichen Zeitpunkt wegen der thermischen Trägheit katalytischer Reformier kein Wasserstoff

zur Verfügung steht. Die Plasmareformierung mit thermischen Plasmen hätte zwar eine hinreichend kurze Ansprechzeit, hat jedoch wie schon erwähnt einen ungünstigen Wirkungsgrad und erfordert für den Kaltstart einen zusätzlichen Speicher für elektrische Energie. Auch die Wasserstofferzeugung durch Oxidation von Metallen mit Wasser hätte das Problem thermischer Trägheit.

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, ein Verfahren vorzuschlagen und eine zugehörige Vorrichtung zu schaffen, mit denen in einfacher Weise der zeitweilige Betrieb eines Verbrennungsmotors mit Wasserstoffbeimischungen zum Kraftstoff möglich ist und insbesondere die oben beschriebenen Nachteile vermieden sind.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass bei einem Verfahren der eingangs genannten Art Kraftstoff unter dem Zusatz von Wasser zu Wasserstoff reformiert wird und in einem Druckbehälter zur Verfügung steht. Dabei wird vorzugsweise das Reformat vor Zuführung zum Druckbehälter katalytisch gereinigt, so dass reiner Wasserstoff gespeichert wird.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass für die Wasserstoffbeimischung im Kaltstart – bedingt durch die geringen erforderlichen Mengen und zwar typischerweise 40 Liter/Minute bei Normaldruck – nicht zwingend erforderlich ist, dass der Wasserstoff auch direkt in der Kaltstartphase erzeugt wird. Vielmehr wird zur Lösung des Problems vorgeschlagen, Wasserstoff im warmgelaufenen Zustand des Motors über einen längeren Zeitraum mit geringer Rate zu erzeugen und in den erforderlichen Mengen unter Druck zu speichern. Damit entfällt die Notwendigkeit, für die Wasserstofferzeugung ein schnelles Verfahren mit geringer thermischer Trägheit einzusetzen, die z. B. ein Plasmareformer darstellen würde. Diese Möglichkeit wurde zwar auch in der bereits erwähnten GB 22 58 012 A erkannt, weshalb dort die aufwendige Kombination der Wasserstofferzeugung aus einer Metall-Wasser-Reaktion und einem metallischen Wasserstoffspeicher für den Start vorgesehen wird. Gegenüber diesem Stand der Technik benötigt die Erfindung einen erheblich geringeren Mehraufwand, insbesondere für bestehende Systeme.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist durch einen katalytisch arbeitenden Reformier zur Erzeugung von Wasserstoff aus Kraftstoff und Oxidationsmittel, einen Druckbehälter als Zwischenspeicher für den Wasserstoff und durch Mittel zur Zuführung des gespeicherten Wasserstoffs zum Motor gekennzeichnet. Mit dieser Vorrichtung wird der Wasserstoff im warmgelaufenen Betriebszustand des Motors und damit ausreichender Abgastemperatur durch Reformierung eines als Kraftstoff verwendeten Kohlenwasserstoffes erzeugt, unter Druck gespeichert und jeweils in der Startphase dem Motor zugeführt.

Um bei der Erfindung den für die Speicherung erforderliche Druck ohne zusätzlichen Aufwand an Kompressionsarbeit zu erreichen, wird für die Wasserstofferzeugung die katalytische Dampfreformierung von Kraftstoff bei Überdruck vorgeschlagen. Der Überdruck im Reaktor kann dadurch aufgebaut und aufrechterhalten werden, dass Wasser und Kraftstoff mit hohem Druck in den Reaktor eingespritzt und erst dort durch Zufuhr von Wärme, die dem Abgas des Verbrennungsmotors entzogen wird, verdampft werden. Deshalb ist dieses Verfahren vorteilhafterweise bei Kraftfahrzeugen mit direkt einspritzenden Motoren einsetzbar, da dort z. B. in sog. Common-Rail Systemen der Kraftstoff schon mit Drücken bis zu 120 bar vorliegt.

Für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und den Einsatz der zugehörigen Vorrichtung sind bei geeigneter Motor-Infrastruktur nur noch ein Abzweig vom motorischen Einspritzsystem mit steuerbarem Ventil, ein Injektor

für Kraftstoff sowie ein zweites Hochdruckdosiersystem für Wasser notwendig. Geeignete Motoren können mit einem derartigen Modul nachgerüstet werden.

Besonders vorteilhaft bei der Erfindung ist, dass die Abwärme des Motors im Dauerbetrieb mit hohem Wirkungsgrad und ohne großen technischen und infrastrukturellen Aufwand genutzt wird, um die Schadstoffemissionen in der Startphase und im Dauerbetrieb zu senken und gleichzeitig den Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors zu erhöhen. Grundlage dafür ist die Erkenntnis, dass

- (a) elektrische Maßnahmen zum Betrieb eines Reformers einen vergleichsweise geringen Wirkungsgrad haben, da elektrische Energie an Bord eines Kraftfahrzeuges bisher nicht mit höherem Wirkgrad als dem des Motors erzeugt werden kann,
- (b) thermische Energie, die sonst als Abwärme anfällt, in leicht speicherbare chemische Energie und gleichzeitig in einen nutzbaren Stoff umgesetzt werden kann. Die Dampfreformierung ist ein endothermer Prozess, wobei der erzeugte Wasserstoff sowohl einen Energiespeicher als auch eine zur Steuerung des motorischen Verbrennungsprozesses wesentliche Substanz darstellt,
- (c) die thermische Energie über die Verdampfung von Flüssigkeiten für die Speicherung von Substanzen in einer Form, d. h. Überdruck, genutzt werden kann, die den schnellen Abruf der gespeicherten Substanz gewährleistet.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit weiteren Patentansprüchen. Es zeigen jeweils schematisch

Fig. 1 den Aufbau eines Motors mit nachgeschaltetem katalytischem Reformer und zugehörigen Mitteln zur Zuführung der Betriebsstoffe zum Motor sowie zur Herstellung und Zuführung des damit erzeugten Wasserstoffes,

Fig. 2 im Einzelnen die Ausbildung des in **Fig. 1** verwendeten katalytischen Reformers.

Anhand der Figuren wird ein System zur Reduzierung der Emissionen von Verbrennungsmotoren im Kaltstart beschrieben. Die Emissionsminderung erfolgt in diesem System durch temporäre Zumischung von Wasserstoff, der in einem geeigneten Reformer erzeugt wird. Wesentlich ist in vorliegendem Zusammenhang, dass der Reformprozess durch thermische Energie des Motorabgases bewirkt wird und damit eine Dampfreformierung erfolgt.

Bekanntermaßen ist es vorteilhaft, die Dampfreformierung unter Wasserüberschuss ablaufen zu lassen, um Rußbildung zu vermeiden. Neben Wasserstoff (H_2) werden bei der Dampfreformierung von Kraftstoff auch Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO_2) erzeugt. CO ist giftig, CO_2 und das überschüssige Wasser würden den Wasserstoff verdünnen und damit den Speicherbedarf vergrößern. Beim Stand der Technik wird bereits vorgeschlagen, durch eine der Reformierung nachfolgende Membranabtrennung reinen Wasserstoff zu gewinnen (sh. B. Emonts et al., J. Power Sources Vol. 71, pp. 288–293 (1998)).

Zum Betrieb eines thermisch arbeitenden Reformers sind Temperaturen von $300^\circ C$ bis $400^\circ C$ erforderlich. Die zum Erreichen dieser Temperatur erforderliche Wärme wird dem Abgas, vorteilhafterweise unmittelbar am Auslasskrümmer entnommen. Das immer noch Wasserstoff- und CO -haltige Abgas des Reformers wird anschließend dem Motor zur Verbrennung zugeführt und hilft so, den Wirkungsgrad zu erhöhen und die Emissionen auch im Dauerbetrieb zu senken, da zum einen der Wasserstoff einen mageren Betrieb

des Motors erlaubt, zum anderen die übrigen Komponenten des Reformerabgases ähnlich wie eine Abgasrückführung die räumliche Homogenität der Verbrennung fördern.

Gemäß **Fig. 1** besteht das für letzteren Zweck ausgebildete System im Wesentlichen aus einem Motor **13** mit Abgasstrang **21** und einem damit thermisch gekoppelten, katalytisch arbeitenden Reformer **1**. Im Einzelnen sind dem Dampfreformer **1** Zuleitungen und bis 20 bar druckfeste Dosiersysteme **2** und **3** für Kraftstoff und Wasser zugeordnet. Die unter Druck stehenden flüssigen Eigangsstoffe werden im Reformer **1** thermisch beaufschlagt und es wird somit durch Verdampfung der erwünschte Wasserstoff erzeugt. Allerdings liegt der Wasserstoff im Gemisch mit weiteren Gasen, insbesondere Kohlenmonoxid, und Überschusswasser vor. Es sind daher Mittel **4** zur Gasreinigung auf der Grundlage einer ultradünnen Palladium-Silber (PdAg)-Membran auf einer keramischen Unterlage zur Abtrennung des Wasserstoffs aus dem Reformat vorhanden. Der separierte Wasserstoff gelangt über ein Druckventil **5** in einen Druckbehälter **6** und wird dort gespeichert. Im Druckbehälter **6** steht dann der Wasserstoff kontinuierlich, d. h. unabhängig von seiner motorbetriebsabhängigen Erzeugung, zur Verfügung. Ein Ventil **7** und eine Leitung **8** dienen zum steuerbaren Transport des Reformerabgases zum Vergaser bzw. zur Kraftstoffeinspritzung der Verbrennungskraftmaschine, d. h. Motor **13**, was durch die Einheit **11, 12** angedeutet ist. Ein Gasauslass aus dem Druckbehälter **6** enthält ein regelbares Ventil **9** und eine Leitung **10** für den Transport des Wasserstoffs zur Einheit **11/12** bzw. direkt zum Motor **13**.

Es sind erste Sensoren **14** bis **16**, beispielsweise Thermoelemente, zur Messung der Abgastemperatur im Bereich des Auslasskrümmers, zur Messung der Temperaturen eines nicht dargestellten Katalysators oder sonstiger Einrichtung für die Abgasnachbehandlung und zur Messung der Temperatur im Reformer **1** sowie zweite Sensoren **17** und **18**, z. B. kapazitive Druckaufnehmer, zur Druckmessung im Reformer und im Druckbehälter vorgesehen. Weiterhin sind Mittel **19** zur Erfassung des Betriebszustandes "Drehzahl" und/oder "Gaspedalwert" des Motors **13** vorhanden.

Eine μ -prozessorbasierte Regelung **20** des Reformers **1** ermöglicht in Abhängigkeit des Betriebszustandes vom Motor **13** und der von den Sensoren **14** bis **18** erfassten Betriebszustände des gesamten Systems über Ventile **2** und **3** die Dosierung von Kraftstoff und Wasser, und über ein Ventil **7** den Gasauslass des Reformerabgases und über ein Ventil **9** die Dosierung des Wasserstoffs aus dem Druckbehälter **6**. Insbesondere die Dosierventile **2, 3** und **7, 9** sind also Teil des μ -prozessorgesteuerten Systems. Dabei können über gespeicherte Kennlinienfelder aus den Daten "Drehzahl" und "Gaspedalwert", die den Betriebszustand des Motors kennzeichnen, auch weitere beispielsweise der Kraftstoffmassenstrom, abgeleitet und für die Regelung verwendet werden.

Der Reformer **1** wird vorteilhafterweise so ausgeführt, dass er die Abgasleitung **21** des Motors **13** umhüllt. Dadurch kann die im Abgas enthaltene Abwärme des Motors **13** optimal genutzt werden. Maßnahmen zur Vergrößerung der Kontaktfläche zum Zweck verbesserter Wärmeübertragung sind bekannt und in Standardwerken, z. B. VDI-Wärmeatlas, für die Auslegung von Wärmetauschern entnehmen. Sobald die mit den Sensoren **14** und **16** erfassten Temperaturen den Minimalwert für einen sicheren Ablauf der Dampfreformierung und der Membranabtrennung des Wasserstoffs überschritten haben, werden anhand der μ -prozessorgeregelten Dosiersysteme **2/20** und **3/20** dem Reformer **1** Kraftstoff und Wasser zugeführt. Dabei ist jedoch immer zu berücksichtigen, dass die Mindesttemperatur für nachfolgende Maßnahmen der Abgasreinigung nicht unterschritten wird.

Deshalb wird die Temperatur im Bereich der Abgasreinigung mit einem Sensor **15** erfasst und ein Betrieb des Reformers **1** dann unterdrückt, wenn die Mindesttemperatur für die Abgasreinigung unterschritten wird.

Für die Membranabtrennung des Wasserstoffs und seine Speicherung unter Druck muss der Reformer **1** bei Überdruck betrieben werden und entsprechend ausgelegt sein. Ebenso muss die Zufuhr der Betriebsstoffe mit Überdruck erfolgen. Deshalb erfolgt die Dosierung sinnvollerweise über eine Zuleitung, in der durch geeignete Pumpen ein Überdruck aufgebaut wird. Es sind Systeme bekannt, mit denen Drücke bis 120 bar aufgebaut werden können. Die Ventile **2** und **3** werden vorteilhafterweise als Hochdruck-Einspritzventile ausgelegt, wie sie auch bei Dieselmotoren verwendet werden.

Fig. 2 zeigt die Gasreinigung im Detail. Es ist eine ringförmige Gasreinigungseinheit **40** mit einer Membran **42** aus Palladium-Silber (PdAg) als Innenwandung vorhanden, welche die in **Fig. 1** pauschal umschriebenen Mittel **4** zur Gasreinigung realisieren, wobei bekanntermaßen diese Membranen auf einem Keramiksubstrat aufgebracht sind. Die Membran **42** der Gasreinigungseinheit **40** kann vorteilhafterweise gemeinsam mit dem Keramiksubstrat als Röhre ausgeführt sein, die eine hohlzylindrische Einheit **10**, die den in **Fig. 1** pauschal angegebenen Reformer **1** realisiert, im offenen Bereich umschließt. Die Reformereinheit **10** hat Zugänge **42**, **43** und einen Abgang **45**, die Gasreinigungseinheit **40** einen Abgang **47**. In Verbindung mit den in **Fig. 1** mittels Mikrocontroller **20** steuerbaren Ventilen **2**, **3** und **7**, **9** bilden sie die Dosiereinheiten für die fluiden Eingangs- und Ausgangsstoffe.

Die umlaufende PdAg-Membran **42** trennt also die einander konzentrisch umfassenden Bereiche der Reformereinheit **1** von der diese umschließende Röhre **40** der Gasreinigungseinheit. Deren Zwischenraum ist mit katalytischem Material **43** gefüllt.

Das Arbeitsgas der Reformereinheit **10** strömt langsam durch den mit katalytischem Material **43** gefüllten Zwischenraum zwischen Abgasstrang **21** und Membran **42** und wird dabei sukzessive in CO_x , d. h. CO und CO_2 , und Wasserstoff (H_2) umgewandelt. Der Wasserstoff wird über die Membran **42** separat über den Auslass **45** dem Druckspeicher **6** aus **Fig. 1** zugeführt und dort zur gezielten Verwendung beim Kaltstart des Motors **13** gespeichert. Dieses Vorgehen erlaubt so durch Verschiebung des chemischen Gleichgewichts einen hohen Umsatz bei der Reformierung. Die Restgase werden über den Auslass **47** weggeführt und gesteuert in das System zurückgeführt.

Mit der anhand der **Fig. 1** und **2** beispielhaft dargestellten Anordnung ist also eine kompakte Vorrichtung beschrieben, bei der die Abwärme des Motors sinnvoll genutzt wird. Es werden gleichermaßen die Schadstoffemissionen gesenkt, insbesondere auch in der Startphase des Motors und der Wirkungsgrad des Motors im Dauerbetrieb erhöht.

Die neue Vorrichtung kann als Zusatzmodul auch bereits in Fahrzeuge eingebaute Motoren ergänzen. Damit wird der Kaltstart von Motoren erheblich verbessert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Emissionsminderung bei Kaltstart von Motoren durch Beimengungen von Wasserstoff, wobei der Wasserstoff im warmgelaufenen Zustand des Motors erzeugt und gespeichert wird, und wobei der gespeicherte Wasserstoff bei Bedarf dem Motor zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung des Wasserstoffes Kraftstoff unter Zusatz von Wasser zu Wasserstoff reformiert und dieser Wasser-

stoff dem Druckbehälter zur Verfügung gestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die im Abgas des Motors enthaltene Abwärme zur Prozessführung bei der Reformierung von Kraftstoff und Wasser zu Wasserstoff dient.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Reformat als Produkt der Reformierung von Kraftstoff und Wasser katalytisch gereinigt wird, so dass zur Zuführung zum Druckbehälter reiner Wasserstoff zur Verfügung steht.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass durch die katalytische Reinigung das Reformat zu reinem Wasserstoff (H_2) und CO_x , insbesondere CO und CO_2 , separiert wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozessführung bei der Reformierung unter Überdruck erfolgt, und dass die Prozessmittel bereits unter Überdruck zugeführt werden.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 5, mit einem katalytisch arbeitenden Reformer (**1**, **10**; **4**, **40**) zur Erzeugung von Wasserstoff aus Kraftstoff und Oxidationsmitteln, einem Druckbehälter (**6**) als Zwischenspeicher für den Wasserstoff (H_2) und mit Mitteln zur Zuführung des gespeicherten Wasserstoffs (H_2) zum Motor (**13**).

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Reformer (**1**, **10**; **4**, **40**) eine selektive Membran (**42**) zur Abtrennung des Wasserstoffs (H_2) aus dem Reformat vorhanden ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die selektive Membran (**42**) eine Palladium-Silber (PdAg)-Membran (**42**) auf Keramik ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der katalytisch arbeitende Reformer (**1**, **10**; **4**, **40**) die Abgasleitung (**21**) des Motors (**13**) röhrenförmig umgibt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die selektive Membran (**42**) eine Trennwand im röhrenförmigen Aufbau (**10**, **40**) einzelner Einheiten (**1**, **4**) des katalytisch arbeitenden Reformers bildet.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen selektiver Membran (**42**) und röhrenförmige Aufbau (**10**, **40**) katalytisches Material angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass Sensoren (**14** bis **19**) zur Erfassung charakteristischer Daten, wie Temperatur und/oder Druck im Abgas, im Reformer, im Katalysator oder dergl., vorhanden sind.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mikroprozessor (**20**) zur Regelung des Reformers (**1**, **10**; **4**, **40**) in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Motors (**13**) vorhanden ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroprozessor (**20**) Betriebskennlinienfelder des Motors (**13**) enthält.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

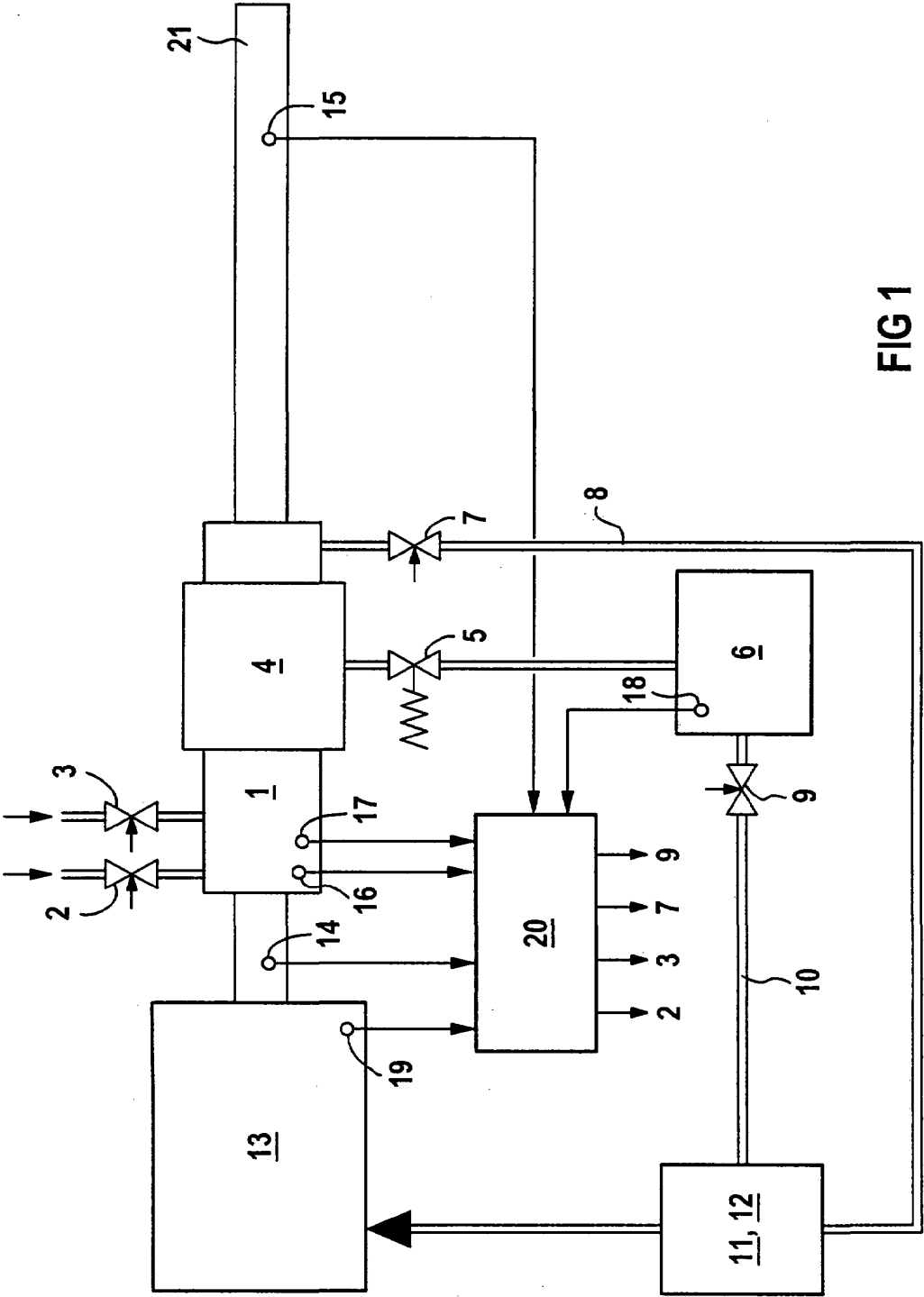


FIG 1

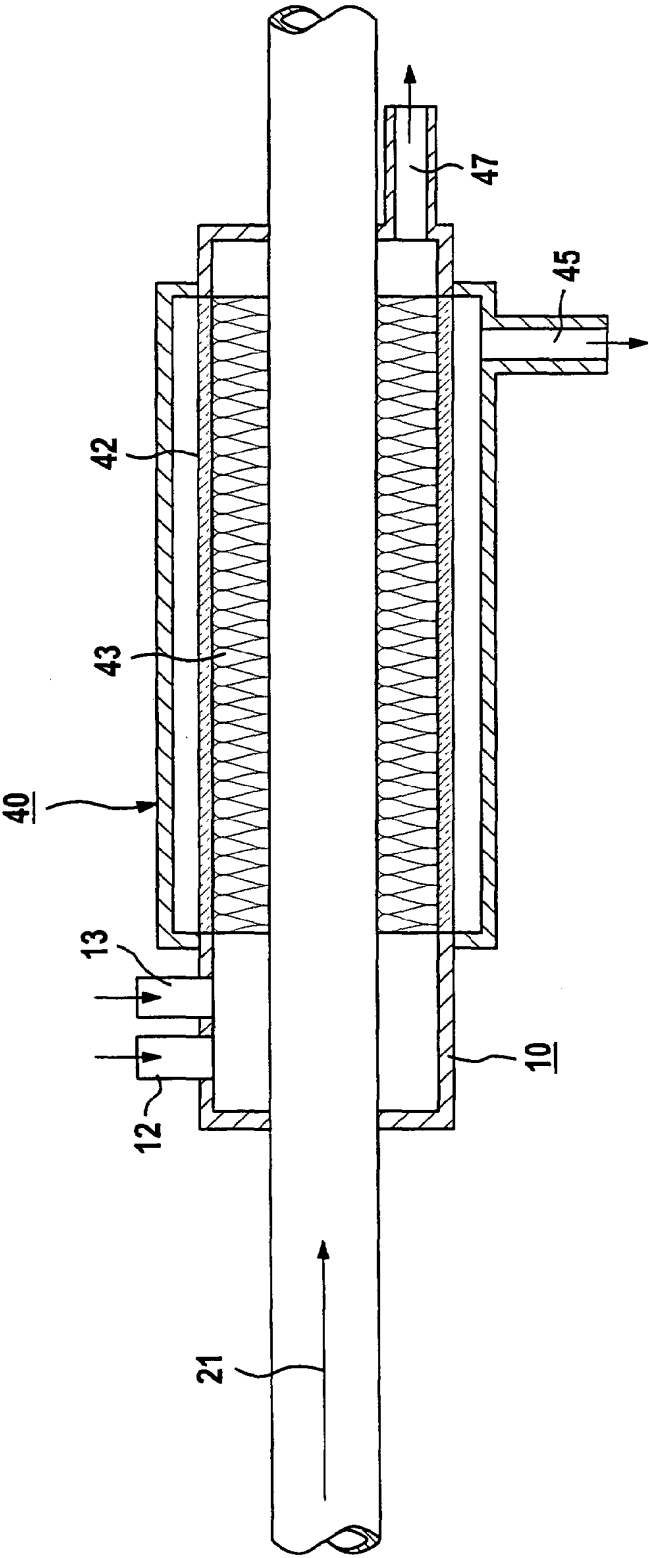


FIG 2